

石油产品应用知识丛书

航空润滑油与润滑脂

李斌才 编

661229



烃加工出版社

内 容 提 要

本书为“石油产品应用知识丛书”的一个分册。本分册较系统地介绍了航空润滑油脂的基本性质、分类、用途、规格和质量分析等。全书分两篇，第一篇为航空润滑油，叙述了各种航空发动机及其润滑系统的工作条件和对油品质的要求。除一般规格和使用性能外，还列举了一些实测数据，对实际工作很有参考价值。第二篇是航空润滑脂，对飞机用的各种润滑脂作了全面介绍，并对国内外现用润滑脂作了对照，以供必要时选择互换代用。

本书为国内第一本公开出版的关于航空润滑油脂方面的书籍，是一本军民两用书，对于民航和部队从事润滑工作的技术人员和管理人员，以及有关院校师生均有一定参考价值。

石油产品应用知识丛书

航空润滑油与润滑脂

李斌才编

烃加工出版社出版

密云卫新综合印刷厂排版

北京通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本11¹/₄印张 2插页244千字 印1—2,500

1987年8月北京第1版 1987年9月北京第1次印刷

书号：15391·53 定价：2.25元

前 言

润滑油是发动机的“血液”，须臾不可缺少。现代高速、重负荷航空动力机械，没有润滑剂，几秒钟就会损坏，因为摩擦产生的热，会使运动部件楔住、熔化或焊接。润滑可以控制磨损与摩擦力、散热冷却、防止表面腐蚀与清除污染杂质。对于航空发动机与传动装置，加入润滑油，克服摩擦，可提高有效功率达几十至几百倍。润滑脂可以保证航空机械、机件与仪表工作的有效性，可靠性与经济性。

各型飞机与发动机均按其技术特性，使用不同牌号的润滑油与润滑脂。目前，我国使用的航空润滑油，分为航空燃气涡轮发动机润滑油、航空活塞式发动机润滑油、直升飞机传动装置润滑油与航空机件与仪表润滑油等四类。按其品种有国产22种、苏联33种、美国15种、英国8种、法国6种。航空润滑脂，分为航空机械润滑脂、航空仪表润滑脂、航空保护润滑脂与航空密封润滑脂四类。其品种有国产35种、苏联27种、美国11种、英国7种、法国2种。

本书主要介绍航空发动机与机械的润滑部件的工作条件，润滑油与润滑脂的使用性能，以及国内外航空润滑油脂的品种、规格、实测数据与应用范围。

本书可供航空机务干部、飞机维护人员以及航空润滑油、润滑脂的生产、使用、科研、教学人员参考。

本书由后勤工程学院黄乙武教授审阅。

目 录

前 言

第一篇 航空润滑油

第一章 摩擦与润滑	(3)
第一节 摩擦.....	(3)
第二节 润滑原理.....	(6)
第二章 航空发动机	(8)
第一节 航空发动机的分类.....	(8)
第二节 航空发动机润滑系统.....	(13)
第三章 航空润滑油的分类、品种与使用范围	(28)
第一节 国产航空润滑油的分类、品种与使用范围.....	(28)
第二节 苏联航空润滑油的分类、品种与使用范围.....	(31)
第三节 美、英、法航空润滑油的分类、品种与使用范围.....	(35)
第四章 航空润滑油的组成	(39)
第一节 石油基润滑油的组成.....	(39)
第二节 合成润滑油的组成.....	(43)
第三节 润滑油添加剂.....	(46)
第五章 航空润滑油的特性	(53)
第一节 润滑油的粘度与粘温特性.....	(53)
第二节 润滑油的润滑性.....	(65)
第三节 润滑油的高温氧化安定性.....	(72)
第四节 润滑油的低温起动性.....	(81)
第五节 润滑油的金属腐蚀性.....	(85)
第六节 润滑油的蒸发性.....	(91)
第七节 润滑油的橡胶适应性.....	(95)
第八节 润滑油的高空起泡性.....	(100)

第九节	润滑油的光安定性·····	(104)
第十节	润滑油的水解安定性·····	(106)
第十一节	润滑油的毒性·····	(108)
第十二节	润滑油的抗流散性·····	(109)
第十三节	润滑油的核辐射安定性·····	(110)
第六章	航空润滑油的储存安定性·····	(112)
第一节	石油基润滑油的储存安定性·····	(112)
第二节	合成润滑油的储存安定性·····	(116)
第七章	航空润滑油的洁净度·····	(124)
第一节	润滑油的污染来源与分类·····	(124)
第二节	润滑油的微粒污染·····	(128)
第三节	润滑油中的水分·····	(133)
第四节	润滑油的微生物污染·····	(137)
第五节	对航空润滑油洁净度的要求·····	(138)
第八章	航空润滑油规格·····	(143)
第一节	国产航空润滑油规格·····	(143)
第二节	苏联航空润滑油规格·····	(151)
第三节	美国航空润滑油规格·····	(158)
第四节	英国航空润滑油规格·····	(172)
第五节	法国航空润滑油规格·····	(175)
第九章	航空润滑油的实测数据·····	(179)
第一节	石油基航空润滑油的实测数据·····	(181)
第二节	合成航空润滑油的实测数据·····	(185)
第十章	航空润滑油的工作条件与其对品质的要求·····	(200)
第一节	航空燃气涡轮发动机润滑油的工作条件与其 对品质的要求·····	(200)
第二节	直升飞机传动装置润滑油的工作条件与其对 品质的要求·····	(207)
第三节	航空活塞式发动机润滑油的工作条件与其对 品质的要求·····	(209)

第四节	航空机件、仪表润滑油的工作条件与其对品质的要求.....	(214)
第十一章	航空发动机润滑油在使用过程中的性能变化.....	(217)
第一节	航空燃气涡轮发动机润滑油在使用过程中的性能变化.....	(217)
第二节	航空活塞式发动机润滑油在使用过程中的性能变化.....	(227)
第十二章	航空润滑油中金属含量的分析.....	(231)
第一节	原子光谱分析.....	(231)
第二节	同位素荧光分析.....	(238)
第三节	中子活化分析.....	(239)
第十三章	润滑油应用计算公式与图表.....	(249)
第一节	润滑油的比热、热焓与热导率.....	(249)
第二节	润滑油的密度与膨胀系数.....	(250)
第三节	润滑油的粘度、粘度指数与粘-温关系.....	(252)
第四节	混合润滑油的闪点、粘度与密度.....	(268)
第五节	航空燃气涡轮发动机润滑油需要量计算公式.....	(269)
	参考文献.....	(270)
第二篇 航空润滑脂		
第一章	航空润滑脂的分类与组成.....	(276)
第一节	航空润滑脂的分类.....	(276)
第二节	航空润滑脂的组成.....	(277)
第二章	航空润滑脂的使用范围.....	(281)
第一节	航空机械润滑脂的使用范围.....	(281)
第二节	航空机件、仪表润滑脂的使用范围.....	(283)
第三节	航空保护润滑脂的使用范围.....	(284)
第四节	航空密封润滑脂的使用范围.....	(285)
第三章	航空润滑脂的使用性能.....	(286)

第一节	润滑脂的可塑性	(283)
第二节	润滑脂的耐热性	(287)
第三节	润滑脂的抗水性	(289)
第四节	润滑脂的保护性	(290)
第五节	润滑脂的胶体安定性	(291)
第六节	润滑脂的化学安定性	(292)
第七节	润滑脂的机械安定性	(293)
第八节	润滑脂的强度极限	(294)
第九节	润滑脂的相似粘度	(297)
第十节	润滑脂的低温转矩	(300)
第十一节	润滑脂的挥发性	(302)
第四章	航空润滑脂的核辐射安定性	(304)
第一节	润滑脂的核辐射安定性与其组成的关系	(304)
第二节	核辐射对润滑脂物理化学指标的影响	(305)
第三节	核辐射对润滑脂使用性能的影响	(307)
第五章	航空润滑脂的储存安定性	(309)
第六章	航空润滑脂的洁净度	(312)
第一节	润滑脂的微生物污染	(312)
第二节	润滑脂的机械杂质与水分	(314)
第七章	国产航空润滑脂规格	(318)
第一节	航空机械润滑脂规格	(318)
第二节	航空机件、仪表润滑脂规格	(320)
第三节	航空保护润滑脂规格	(324)
第四节	航空密封润滑脂规格	(326)
第八章	国外航空润滑脂	(327)
第一节	苏联航空润滑脂的品种与规格	(327)
第二节	美、英航空润滑脂的品种与规格	(337)
第九章	航空润滑脂的互换代用	(344)
	参考文献	(346)

第一篇 航空润滑油

航空润滑油是指飞机所用润滑油的总称，包括各型航空发动机、传动装置、航空机件与仪表用的各种润滑油。

润滑油的使用，我国可以追溯到三千年以前。《诗经·邶风·泉水》中载有“载脂载辇，还车言迈，遄臻于卫，不暇有害”〔1〕。“意思是车轴润滑，可以加快速度”。在国外，牛顿于1668年提出粘性液体流动规律，苏联于1865年便从石油中制取润滑油，1883~1887年彼得洛夫就创建了流体动力学说〔2〕。

航空润滑油的研制，是随着航空工业的发展而迅速发展起来的。初期的喷气发动机，润滑油工作温度只有90℃，可以使用石油基低粘度润滑油。到了超音速时代，马赫数为1.5~1.8的发动机，润滑油工作温度为150℃，使用双酯润滑油。马赫数大于2的发动机，润滑油工作温度为200℃以上，就需要使用热安定性较高的多元醇酯润滑油了。

酯类合成润滑油，首先由德国I. G公司开发并应用于喷气发动机。

八十年代以来，酯类润滑油的应用范围日益扩大，产量增长很快。在美国，1976年双酯与多元醇酯的使用量超过17000吨。在英国，仅壳牌石油公司生产的500号航空涡轮油，便应用于26种发动机，390号航空涡轮油为25家以上的航空公司所采用。

目前，国外研制的，能满足200~400℃范围内使用的高温润滑油有聚苯醚、硅醚、磷酸酯以及超精制的矿油与合成烃等润滑油。随着航空发动机向高速度、高负荷与高功率发

展，对润滑油的热安定性、低温起动性与高负荷润滑性等指标，也提出了更高的要求。

目前国内航空润滑油的生产已达到较高水平，不但亚音速飞机用的石油基润滑油品质优良，能够满足使用要求；而且超音速飞机用的某些酯类合成润滑油，也已批量生产，可供民航与各种军用飞机使用。

第一章 摩擦与润滑^[29]

摩擦是相互接触的两物体在接触面上发生阻碍相对运动的现象。物体之间的摩擦，主要是由于接触表面凹凸不平（图1-1）及物体分子之间的吸引力所引起的。摩擦在多数情况下是不利的。例如：机器运转时的摩擦，会造成能量的无益损耗和缩短机器寿命。

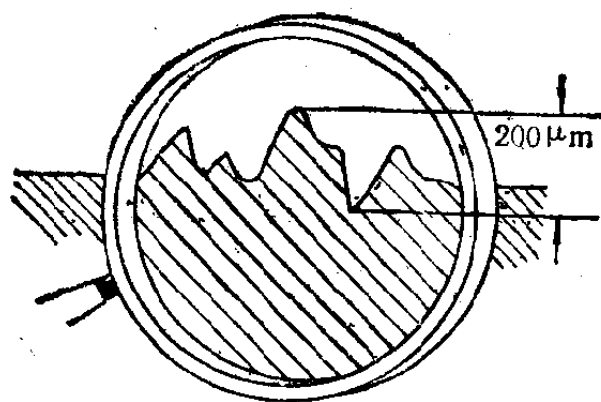


图 1-1 鑄制零件表面情况

润滑油的目的是克服摩擦，减少磨损。润滑油的作用，是在固体接触表面间，连续保持具有液体动力学润滑的液层，即保持液体润滑^[47]。

第一节 摩擦

摩擦可分为静摩擦与动摩擦，动摩擦又可分为滑动摩擦与滚动摩擦。静摩擦是指物体由静止状态到开始运动状态时所产生的摩擦。滑动摩擦是指两个物体的表面相互接触并相对滑动时产生的摩擦。滑动摩擦是面接触。例如，发动机活

塞与气缸壁的摩擦（图1-2）。

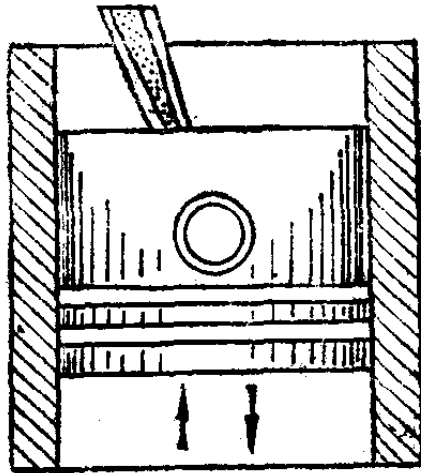


图 1-2 活塞在气缸中的运动情况

滚动摩擦是指球形或圆形物体沿另一物体表面滚动时所产生的摩擦。滚动摩擦是点接触或线接触。例如，滚珠轴承和滚柱轴承的摩擦（图1-3）。

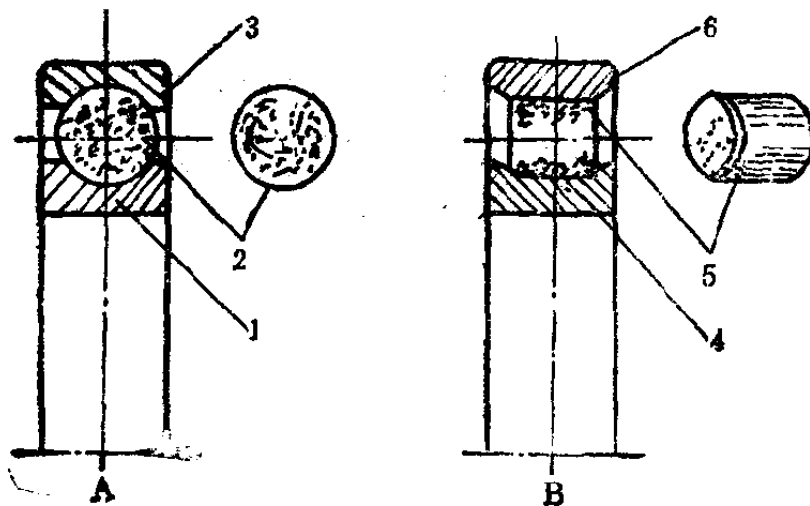


图 1-3 滚动摩擦

A—滚珠轴承； B—滚柱轴承

1、4—内环； 2—滚珠； 3、6—外环； 5—滚柱

摩擦的数量特性，常用摩擦系数表示。在图1-4中摩擦力F与摩擦零件上的负荷P的比例称为摩擦系数 μ ，即

$$\mu = \frac{F}{P} \quad (1-1)$$

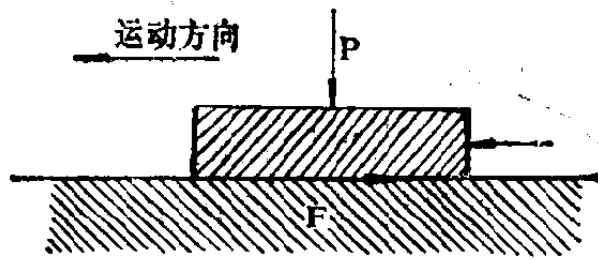


图 1-4 摩擦示意图

坚硬和光滑表面的摩擦系数小于柔软和粗糙表面。在多数情况下，摩擦力小于摩擦零件上的负荷，即摩擦系数小于 1。

为了减小摩擦阻力，通常在摩擦表面间加入润滑油，分开摩擦面。根据摩擦表面润滑油的多少，滑动摩擦又分为干摩擦、液体摩擦、半液体摩擦和边界摩擦（图1-5）。

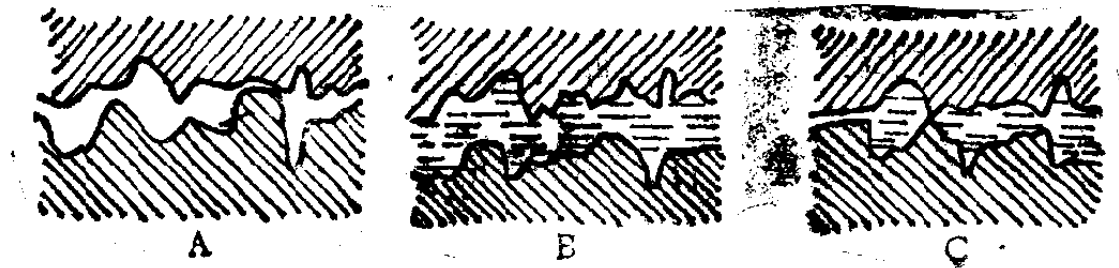


图 1-5 滑动摩擦示意图

A—干摩擦；B—液体摩擦；C—半液体摩擦

干摩擦是指摩擦表面没有润滑油时所产生的摩擦。干摩擦时，其功率损耗，产生的热量和摩擦表面磨损都很大。液体摩擦是指两个摩擦表面间完全被润滑油层隔开时的摩擦。

表 1-1 各种摩擦的摩擦系数

摩擦条件	滑 动 摩 擦			滚 动 摩 擦	
	干摩擦	边界摩擦	液体摩擦	滚珠轴承	滚柱轴承
摩擦系数	0.1~0.5	0.01~0.1	0.001~0.01	0.001~0.003	0.002~0.005

液体摩擦时的摩擦系数比干摩擦系数小得多（表1-1）。

从摩擦系数可知，当液体摩擦代替干摩擦时，将显著地降低零件的磨损程度，减少机器的功率损失，减少零件发热，提高零件的安全程度并延长其使用寿命。因此，一切摩擦零件均力求保持液体摩擦，只有摩擦零件在工作时为润滑油层所分开，才能得到最为有利的液体润滑。

介于液体摩擦和干摩擦之间是半液体摩擦与边界摩擦。当摩擦零件出现半液体摩擦时，接触部位将因润滑油膜坚固程度不同，可能产生边界摩擦或干摩擦。所以，半液体摩擦时，需要润滑油具有较高的润滑性，而且，摩擦表面具有肉眼可见油层。

边界摩擦是指在摩擦表面具有边界润滑油膜时所产生的摩擦。边界油膜是指润滑油在金属表面分子力作用下存在的肉眼看不见的最薄油膜，其厚度小于 $1.0\mu\text{m}$ 。

第二节 润滑原理

润滑油的作用是将零件的干摩擦转化为液体摩擦，以保证机械正常工作。例如，航空发动机轴与轴承间加入润滑油

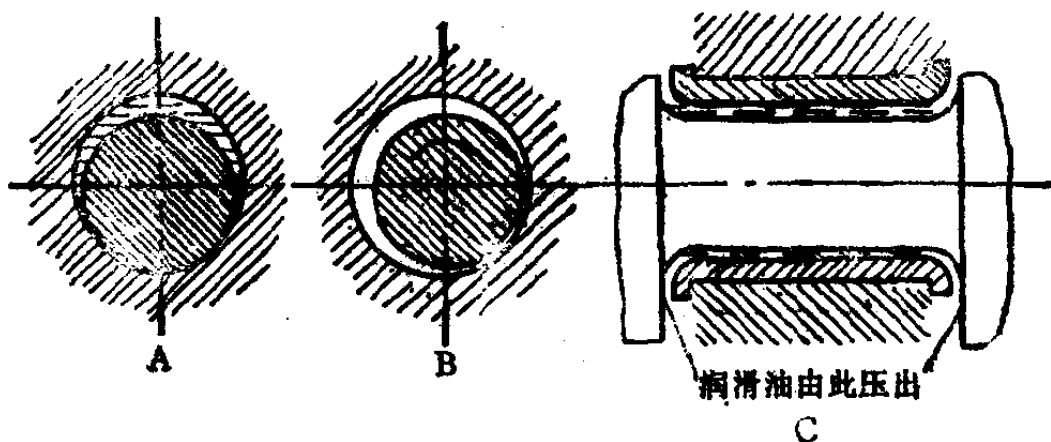


图 1-6 轴-轴承摩擦偶中油楔的形成

A—轴不动；B—轴转动；C—轴承侧视图

使摩擦表面呈液体摩擦，保证发动机正常运转。机械的润滑原理主要是油楔作用，润滑油在轴与轴承间形成的油楔，如图1-6所示。

在轴-轴承摩擦偶中，紧贴着轴的一层润滑油，由于内摩擦作用将带动邻近的润滑油。当轴旋转时，将润滑油吸入轴下部的间隙处，从而轴被托起，支承在由此而形成的油楔上。润滑油粘度越高，则油楔所能承受负荷越大。润滑油被挤出轴-轴承间的间隙，主要是从两端间隙中流出来。轴在轴承中旋转时，转速越大、油膜越厚，将轴托起越高。

在液体摩擦中，摩擦力 F 的大小与润滑油的动力粘度 η 、摩擦物体的相对运动速度 V 及摩擦表面面积 S 的大小成正比，而与两个表面间的润滑油层厚度 h 成反比。即：

$$F = \eta \frac{VS}{h} \quad (1-2)$$

根据上式，润滑油粘度越大，摩擦力越大，发动机克服摩擦力而损耗的功率亦越大。因此，航空发动机应在保证摩擦偶中有一定厚度油膜存在的条件下，选用粘度较低的润滑油。

另外，在短期重荷作用下的接触表面，将产生边界摩擦。例如：航空发动机在起动或停车时，滚动轴承中滚珠或滚柱与轴承套圈相接触。此时，在润滑表面间起作用的不是液体润滑，而是润滑油被金属吸附，即润滑油中的表面活性物质与金属原子相互作用形成吸附油膜。

第二章 航空发动机 [42、76]

第一节 航空发动机的分类

航空发动机一般分为两大类，即航空燃气涡轮发动机和航空活塞式发动机。

1. 航空燃气涡轮发动机

航空燃气涡轮发动机，可分为涡轮喷气发动机，（简称涡喷发动机）；涡轮螺旋桨发动机，（简称涡桨发动机）；涡轮风扇发动机，（简称涡扇发动机）；涡轮轴发动机，（简称涡轴发动机）四种。航空燃气涡轮发动机，一般由燃烧室、压气机、喷管与燃气涡轮等部件组成。

(1) 涡轮喷气发动机

发动机工作时，空气经压气机压缩后，压力和温度提高，随即进入燃烧室与燃料混合并燃烧。燃烧后形成的燃气进入涡轮，涡轮便在高压、高温燃气的推动下旋转，从而带

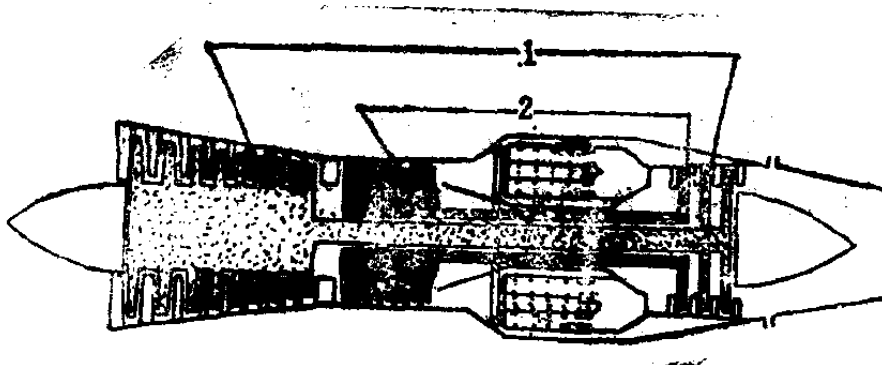


图 1-7 双轴向压气机式涡轮喷气发动机示意图
1—低压压气机与低压涡轮；2—高压压气机与高压涡轮

动压气机工作。燃气最后在喷管中膨胀加速，高速向外喷出而产生推力。

涡轮喷气发动机根据压气机的类别，又可分为离心压气机式与轴向压气机式两种。

图1-7是双轴向压气机式涡轮喷气发动机的示意图。

(2) 涡轮螺旋桨发动机

涡轮螺旋桨发动机是在压气机前面装有螺旋桨的喷气发动机。涡轮传动轴除了带动压气机外，还带动螺旋桨，使之产生拉力。

涡轮螺旋桨发动机又分以下两种：

1) 单轴式涡轮螺旋桨发动机，发动机的螺旋桨和压气机共用一根轴同涡轮连接。

2) 双轴式涡轮螺旋桨发动机，发动机的螺旋桨和压气机同各自的涡轮相连接。

图1-8是双轴式涡轮螺旋桨发动机的示意图。

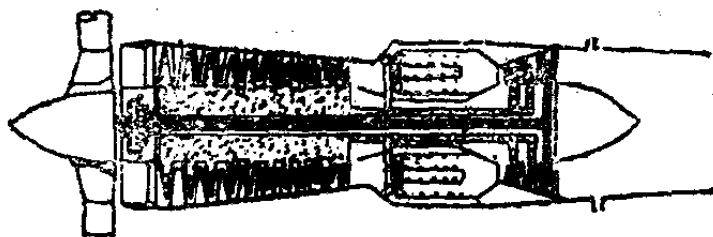


图 1-8 双轴式涡轮螺旋桨发动机示意图

(3) 涡轮风扇发动机

涡轮风扇发动机是涡轮喷气发动机加一外壳和风扇构成。可看成是将涡轮螺旋桨发动机的螺旋桨直径缩小、桨叶增多，并用圆筒形外壳将其罩在里面演变而来。这种发动机有内外两个气流通道，内通道和一般的涡轮喷气发动机相同，称为内函；外通道是装有风扇的环形气流通道，称为外

函。

根据风扇安装位置的不同，涡轮风扇发动机有前扇式与后扇式两种。前者将风扇安装在压气机前面，后者将风扇安装在后面一级涡轮叶片上。

图1-9是混合排气的涡轮风扇发动机示意图。

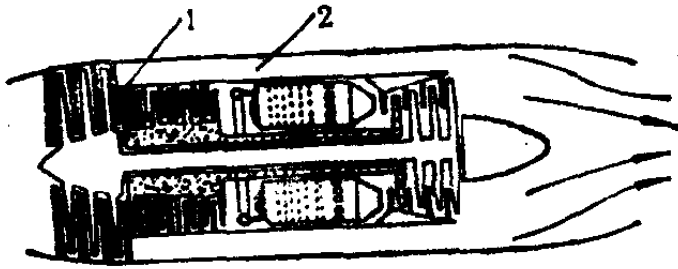


图 1-9 混合排气的涡轮风扇发动机示意图

1—内路；2—外路

(4) 涡轮轴发动机

涡轮轴发动机是在涡轮喷气发动机的后面，再安装一个动力涡轮。发动机工作时，动力涡轮通过传动机构带动旋翼转动产生拉力。

涡轮轴发动机，多用作直升飞机的动力装置。图1-10是涡轮轴发动机示意图。

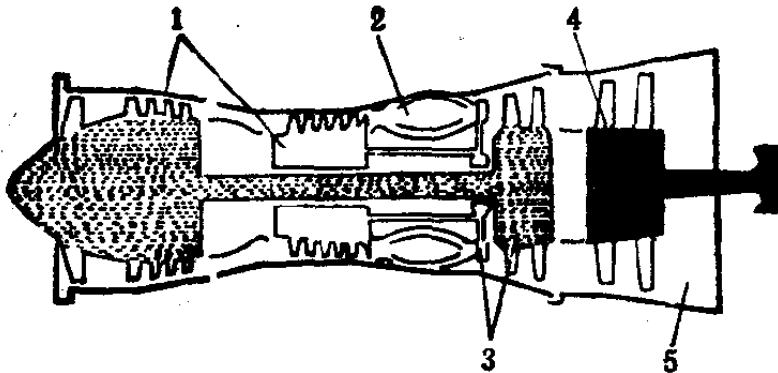


图1-10 涡轮轴发动机示意图

1—压气机；2—燃烧室；3—涡轮；4—自由涡轮；5—喷管

2. 航空活塞式发动机